UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH VĚD

Ústav klinické rehabilitace

Barbora Šťastná

Možnosti objektivního hodnocení představy pohybu

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Mgr. Hana Haltmar

Olomouc 2023

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně a použila jen uvedené bibliografické a elektronické zdroje.

Olomouc 11. května 2023 Barbora Šťastná

Poděkování

Chtěla bych moc poděkovat své vedoucí Mgr. Haně Haltmar za její odborné vedení, ochotu a rady při zpracovávání bakalářské práce. Další velké poděkování patří mým blízkým za jejich oporu.

ANOTACE

Typ závěrečné práce: bakalářská
Téma práce: Možnosti objektivního hodnocení představy pohybu
Název práce: Možnosti objektivního hodnocení představy pohybu
Název práce v AJ: Possibilities of objective evaluation of the motor imagery
Datum zadání: 2022-11-30
Datum odevzdání: 2023-05-11
Vysoká škola, fakulta, ústav: Univerzita Palackého v Olomouci
Fakulta zdravotnických věd
Ústav klinické rehabilitace
Autor práce: Barbora Šťastná
Vedoucí práce: Mgr. Hana Haltmar
Oponent práce: PhDr. Barbora Kolářová, Ph.D.

Abstrakt v ČJ:
Tato bakalářská práce se věnuje problematice hodnocení představy pohybu z objektivního hlediska. Představa pohybu je charakterizována jako mentální představení si pohybu, aniž by došlo k viditelnému pohybu na těle. Pozitivní účinky představy pohybu se ukazují jak ve sportu, tak v rehabilitaci. Cílem práce je shrnutí dosavadních poznatků o představě pohybu a vybraných objektivních metodách pro její měření. V dané souvislosti je součástí cíle práce porovnání efektivity zkoumaných objektivních metod. Práce představuje nejčastěji používané objektivní metody hodnotící představu pohybu, které jsou: elektromyografie, elektroencefalografie, funkční magnetická rezonance a pozitronová emisní tomografie. Na základě porovnání efektivity objektivních metod se jeví jako nejpraktičtější metoda EEG a jejím vhodným doplňkem metoda fMRI.

Abstrakt v AJ:
This bachelor thesis focuses on the problem of motor imagery evaluation from an objective point of view. The motor imagery is characterized as a mental imagining of movement without any visible movement on the body. The positive effects of movement imagery are shown in both sport and rehabilitation. The aim of this thesis is to summarize the existing knowledge about motor imagery and selected objective methods for its assessment. In the given context, the aim of the thesis includes a comparison of the effectiveness of the investigated objective methods. The thesis presents the most commonly used objective methods for assessing the motor imagery, namely: electromyography, electroencephalography, functional magnetic resonance imaging and positron emission tomography. Based on the comparison of the

effectiveness of objective methods, the EEG method appears to be the most practical method and its appropriate complement is the fMRI method.

Klíčová slova v ČJ: představa pohybu, elektromyografie, elektroencefalografie, funkční magnetická rezonance, pozitronová emisní tomografie

Klíčová slova v AJ: motor imagery, electromyography, electroencephalography, functional magnetic resonance, positron emission topography

Rozsah: 38 stran

Obsah

Úvod **7**

1 Řízení motoriky **8**

1.1 Sestupné motorické dráhy 8

1.1.1 Tractus corticospinalis – pyramidová dráha 9

1.1.2 Tractus costiconuclearis 10

1.1.3 Extrakortikospinální systém 10

1.2 Subkortikální úroveň řízení motoriky 10

1.3 Spinální úroveň řízení motoriky 11

2 Představa pohybu **12**

2.1 Rozdělení představy pohybu 12

2.2 Využití představy pohybu 13

2.2.1 Trénink u zdravých jedinců a sportovců 14

2.2.2 Trénink v neurologické rehabilitaci 14

2.2.3 Trénink posturální kontroly 15

2.2.3 Popáleniny 15

2.2.4 Parkinsonova choroba 16

2.2.5 Amyotrofická laterální skleróza 16

2.2.6 Poranění předního zkříženého vazu 17

3 Hodnocení představy pohybu **19**

3.1 Subjektivní hodnocení představy pohybu 19

3.2 Objektivní hodnocení představy pohybu 20

3.2.1 Elektromyografie (EMG) 21

3.2.2 Elektroencefalografie (EEG) 22

3.2.3 Funkční magnetické rezonance (fMRI) 22

3.2.4 Pozitronové emisní tomografie (PET) 23

4 Diskuse **24**

4.1 EMG 24

4.2 EEG 25

4.3 fMRI 26

4.4 PET 27

4.5 Porovnání efektivity vybraných objektivních metod 28

Závěr **29**

Referenční seznam **30**

Seznam zkratek **38**

Úvod

V posledních letech se čím dál tím víc dostává do podvědomí představa pohybu a díky řadě experimentálních studií nachází své hojné využití v různých oblastech. Představa pohybu je charakterizována, jako mentální představení si pohybu bez jakéhokoli viditelného pohybu na těle. Během představy pohybu se aktivují určité nervové struktury, které mají ve výsledku pozitivní dopad na zlepšení motoriky, výkonu, přesnosti a dalších faktorech. Považuje se za často používanou terapeutickou metodou ve sportu, kdy dochází ke zvýšení rychlosti, dynamiky a již zmíněného výkonu. Představa pohybu je také velké téma v rehabilitaci, kde se ukázala s pozitivními účinky u řady diagnóz, například pacienti po cévní mozkové příhodě, s Parkinsonovým syndromem, po ortopedických zákrocích apod.

Představu pohybu je možné hodnotit dvěma způsoby, ze subjektivního a objektivního hlediska. Subjektivní hodnocení používá pro své měření různé typy dotazníků, které jsou založené na subjektivním vnímání vlastní představy pohybu. Hodnocení objektivní na druhou stranu vychází z neinvazivních způsobů měření, které poskytují informace z centrálního i periferního systému. Mezi nejpoužívanější objektivní metody patří elektromyografie, elektroencefalografie, funkční magnetická rezonance a pozitronová emisní tomografie.

Cílem této bakalářské práce je shrnutí dosavadních poznatků o představě pohybu a vybraných objektivních metodách pro její měření. V dané souvislosti je součástí cíle práce porovnání efektivity zkoumaných objektivních metod.

1 Řízení motoriky

Mezi základní funkce živých organismů patří hybnost neboli motorika. Aktivitou motorického systému je svalová činnost zajišťující vzpřímenou polohu a všechny pohyby nutné k přemístění, práci a dalších běžných činností. Uvádí se dva základní typy pohybů. Jedním z nich jsou rychlé, stereotypní, mimovolní a stimulem vyvolané reflexní odpovědi a druhým typem je cílená, volní motorika. Řízení motoriky zajišťují všechny etáže centrální nervové soustavy (CNS), jak už na úrovní kortikální, subkortikální, tak spinální (Ambler, 2006, str. 17). Řízení motoriky velmi úzce souvisí s představou pohybu a z behaviorálního hlediska mají společné podobné neurální sítě. V obecné rovině studie prokázaly aktivaci některých oblastí CNS při představovaných motorických úkolech (Solodkin et al., 2004, str. 1247).

1.1 Sestupné motorické dráhy

Řízení motoriky mozkovou kůrou se děje prostřednictvím sestupných projekčních drah, také nazývaných eferentní neboli motorické. Motorické dráhy lze rozdělit na přímé sestupné a nepřímě sestupné dráhy, v závislosti na počtu neuronů v jejím průběhu. Pokud je spojení mezi kortexem a motorickými neurony míchy či motorickými jádry hlavových nervu prostřednictvím pouze jednoho neuronu, jedná se o sestupnou dráhu přímou. Tyto dráhy se řadí k fylogeneticky mladším a zajišťují pohyby cílené, přesné a zručné volní. Fylogeneticky starší jsou dráhy sestupné nepřímé. Vyznačují se přepojením více neuronů v průběhu dráhy z mozkové kůry na periferní motorické neurony, a to v bazálních gangliích, mozečku a mozkovém kmeni. Ovlivňují mimovolní pohyby těla, svalový tonus, rovnováhu potřebnou pro vykonávání volních pohybů (Fiala a Valenta, 2020, str. 88).

Motorická oblast je umístěná především ve frontálním laloku mozkové kůry. Z funkčního hlediska lze mozkovou kůru rozdělit na několik dílčích oblastí. Jedná se o primární motorickou korovou oblast uloženou v gyrus precentralis – M1, area 4; suplementární (sekundární) motorickou oblast, která je uložená na mediální ploše hemisfér – area 6; v gyrus postcentralis se nachází primární somatosenzitivní korová oblast v arei 3, 1, 2 a v poslední řadě asociační parietální oblast v arei 5 a 7 (Čihák, 2016, str. 444; Druga, Grim a Dubový, 2011, str. 36; Fiala a Valenta, 2020, str. 66-68). Ta je významná pro rozpoznávání, které má souvislost i s provedením pohybů, motoriky. S parietální oblastí je propojena primární motorická oblast a premotorická, a tyto spoje zajišťují provedení přesných pohybů. Pokud jsou z jakékoli příčiny tyto spoje přerušeny, nastává kontralaterální, druhostranná ideomotorická apraxie a snížení až ztráta zručnosti (Fiala a Valenta, 2020, str. 68).

Primární motorická korová oblast je v somatotopickém uspořádání jako tzv. motorický homunkulus. Motorický homunkulus představuje zastoupení neuronů pro jednotlivé části těla, z čehož největší část patří nervovému řízení svalů obličeje, kam se mimo jiné řadí i fonace, a to především artikulace a malé svaly ruky. Pokud dojde ke korovému nebo subkorovému postižení, je zjevné a poněkud časté postihnutí svalů ruky, a tak narušení její funkce (Ambler, 2006, str. 18). Suplementární (doplňková) motorická korová oblast má největší podíl na koordinaci, programování a plánování složitějších pohybů horních a dolních končetin a hlavy (Fiala a Valenta, 2020, str. 66). Mnoho studií prokazuje aktivování oblastí centrální nervové soustavy během imaginace pohybu, kde v první řadě je to zapojení sumplementární doplňkové oblasti, primární motorické oblasti, premotorická a parietální kůra. V rámci neurologických studií je dokazována silná aktivace doplňkové oblasti. Pokud se jedná o primární motorickou oblast, jsou uváděny rozporuplné informace o jejím dostatečném zapojení. Jeden z názorů představuje, že excitabilita primární motorické kůry je spojená s motorickým výkonem, kdežto představa pohybu se pojí s nevytvářením jakéhokoliv zjevného pohybu. Tím pádem se předpokládá, že primární motorická kůra se přímo nepodílí na imaginaci pohybu (Fukumoto et al., 2021, str. 1-2; Traversa, Lebon a Martin, 2018, str.1).

1.1.1 Tractus corticospinalis – pyramidová dráha

Označení pro jednoneuronovou dráhu vedoucí z mozkové kůry k míšním segmentům a končící na motoneuronech a interneuronech předních a zadních rohů míšních. Kortikospinální dráha sestupuje z motorických korových oblastí areí 4 a 6 (60 %), spolu se senzitivními korovými oblastmi 5 a 7 (40 %). Veškerá vlákna kortikospinálního traktu jsou tvořena pyramidovými buňkami a vystupují z V. vrstvy těchto korových areí.

Vlákna pyramidové dráhy vedou přes capsula interna, odtud sestupují prostřední částí crura cerebri a pokračují do bazální části pons Varoli. Na přechodu medully oblongaty a medully spinalis, v místě zvaném decussatio pyramidum se kříží zhruba 80 % vláken. (Čihák, 2016, str. 489) Nezkřížená vlákna pokračují stejnostrannými předními provazci jako tractus corticospinalis ventralis. Zkřížená vlákna označována jako tractus costicospinalis lateralis sestupují druhostrannými míšními provazci (Druga, Grim a Dubový, 2011, str. 37).

Funkcí kortikospinální dráhy, je zajištění volní motoriky. Při lézi drah se projevuje kontralaterální obrna končetin, ale svalstvo trupu není postiženo, jelikož je přenos impulzů k motoneuronům složitější. Byl proveden pokus na primátech, a z výsledku vyplynulo, že po přerušení pyramidové dráhy je nejvíce poškozeno svalstvo v distální části končetiny. U svalů

v proximální části končetiny je možnost návratu hybnosti v malé podobě po delším časovém úseku (Čihák, 2016, str. 489). Studie, které využívají transkraniální magnetickou stimulací zjistily zvýšení excitability kortikospinální dráhy během imaginace pohybu s porovnáním v klidovém stavu. To se ukázalo jako zvýšení amplitudy motoricky evokovaného potenciálu (Traversa, Lebon a Martin, 2018, str.1). Pomocí této neinvazivní metody existuje už řada výsledků, které slouží k porovnání a sledování zapojení kortikospinální dráhy během představy pohybu, a to na segmentální úrovni řízení (Grosprêtre et al., 2016, str. 1279-1280).

1.1.2 Tractus costiconuclearis

Jedná se o jednoneuronovou dráhu, která vede z primární motorické a premotorické oblasti a končí v motorických i senzitivních jádrech hlavových nervů. Kortikonukleární dráha sestupuje společně s pyramidovou dráhou přes capsula interna a crus cerebri. Dále pokračuje mozkovým kmenem, zde ovšem končí v jádrech hlavových nervů. Dochází opět ke křížení, ale pouze jen části vláken, které jdou k protilehlým jádrům hlavových nervů. Kortikonukleární dráha slouží k propagaci volních pohybů, v případě vláken z motorické kůry. Podle zakončení v určitém jádru se odlišuje funkce dráhy, a to pro jaké svaly zajišťuje dráha volní pohyb. V případě vláken senzitivní kůry je hlavní funkcí kontrolování přenosu senzitivních impulzů (Fiala a Valenta, 2020, str. 88).

1.1.3 Extrakortikospinální systém

Také označovány jako dráhy nepřímé sestupné. Nepřímé z toho důvodu, že vlákna nejdou přímo do spinální míchy, ale dochází k přepojení v podkorových centrech. Extrapyramidové dráhy mají své podstatné funkce. Tractus rubrospinalis excituje motoneurony flexorů, a naopak inhibuje motoneurony extenzorů na končetinách. Funkcí tractus tectospinalis jsou pohyby hlavy a krku v návaznosti na zrakové podněty. Společně s tractus interstitonspinalis reagují na podněty z vestibulárního aparátu a také zrakové podněty aktivací šíjového svalstva, pohyby očí, hlavy a horní části trupu. Vliv a kontrola svalového tonu má na starost retikulospinální trakt. Tractus vestibulospinalis působí na motoneurony extenzorů končetin, svaly šíjové a hluboké zádové a tím zajišťuje antigravitační držení těla a správné postavení krční páteře (Fiala a Valenta, 2020, str. 90-91; Čihák, 2016, str. 486-488).

1.2 Subkortikální úroveň řízení motoriky

Subkortikální úroveň řízení motoriky je hierarchicky řazena mezi úrovní kortikální a spinální a je považována za fylogeneticky nejstarší část mozku. Patří k nim mozkový kmen a

jeho všechny části, retikulární formace, mozeček, bazální ganglia, mezimozek a v neposlední řadě limbický systém. Tato úroveň řízení zajišťuje cílenou mimovolní motoriku, což představuje pohyby spojené s příjmem potravy, obrannou funkcí nebo otáčení hlavy a pohyb očí za vizuálním podnětem. Také signalizuje možné poranění tkání jako nociceptivní podnět a tím pádem chrání organismus před úplným poškozením. Podílí se na programování, organizaci a synchronizaci pohybů. (Neuls, 2015, str. 3). V současné době se zkoumá nejen kortikální excitabilita během imaginace pohybu, ale i zapojení na úrovni subkortikálních systémů. Autoři Marchesotti et al. (2017) prokazují ve své studii rozsáhlou kortiko-subkortikální síť zapojenou při představě pohybu, a také aktivaci mozečku a bazálních ganglií (Solodkin, Hlustik a Buccino, 2006, str. 524). U pacientů s Parkinsonovou chorobou, která postihuje bazální ganglia se projevilo zpomalení imaginace pohybu. To by naznačovalo, že bazální ganglia mají vliv na rychlost, ale ne na obsah představy pohybu (Hanakawa, 2016, str. 61).

1.3 Spinální úroveň řízení motoriky

Automaticky generovaná reakce organismu na podnět je nazývaná reflexem. Ten reaguje na určitý stimul vyvolaný vnějšími či vnitřními vlivy. Adekvátní reakce na stimul je vyslána nervovým systémem ze spinální úrovně. Při shodném podnětu se vyvolá tentýž reflex, ale je možné podle intenzity impulzu ovlivnit jeho snížení či zvýšení. Je definován reflexním obloukem, který se skládá z receptoru, aferentní (dostředivá) dráhy, reflexního centra, eferentní (odstředivé) dráhy a efektoru (Fiala a Valenta, 2020, str. 26-27). Během představy pohybu vzrušivost spinálních motorických neuronů se může, jak excitovat, tak inhibovat prostřednictvím vstupů z centrální nervové soustavy kortikospinální nebo extrapyramidovou dráhou. Je možné, že k přípravě a plánování při imaginaci pohybu napomáhá aktivace centrální nervové soustavy, a tím usnadňuje excitabilitu spinálního motorického neuronu (Larrivee, 2018, str. 61).

2 Představa pohybu

Práce s představou pohybu se donedávna soustředila pouze pro sportovní trénink, ale v 80. a 90. letech minulého století se začalo dostávat do podvědomí i v oblasti rehabilitace. Pomocí zobrazovacích metod byly objasněny nervových struktury, které podporují představu pohybu, což vedlo k dalšímu zkoumání s využitím v rehabilitaci. Dnes je již dokázána reorganizace nervových struktur v důsledku představy pohybu a viditelné zlepšení motorické výkonnosti, což vede k myšlence zařazování představy pohybu do běžného využití v terapii u vybraných diagnóz (Dickstein a Deutsch, 2007, str. 943). Důkazem je fakt, že mozkové oblasti účastnící se plánování a provádění pohybů jsou taktéž aktivní při představování si pohybů. Více autorů, kteří pracovali s mapováním mozku během motorické představy, dokázali aktivaci určitých oblastí mozku, které se týkají motorického výkonu. Jak při motorickém výkonu, tak představě pohybu se zapojila prefrontální kůra, premotorická kůra, suplementární motorická kůra, temenní kůra, cirkulární kůra a mozeček. Předpokládá se, že pokud se primární motorická kůra zapojuje do realizační fáze akce, neočekává se během představy pohybu žádná aktivita mozku, jelikož se neděje žádný skutečný pohyb. To ale vyvrací několik studií, které prokázaly opak neboli zapojení primární motorické kůry během imaginace pohybu (De Vries a Mulder, 2007, str.5-6).

U definování představy pohybu se uplatňuje více tvrzení různých autorů. Decety (1996, str. 45) definuje představu pohybu jako dynamický stav, během kterého osoba myšlenkami simuluje zadanou akci. Dle tohoto fenoménu má osoba pocit, že provádí danou činnost. Představa pohybu je dále popsaná jako mentální zobrazení pohybu, bez známky pohybu těla a jakékoliv zapojení svalů. Jeannerod (1995, str. 1419) to dále popsal jako vědomé využití nevědomé přípravy na skutečný pohyb. Jde o komplexní kognitivní proces, který pomocí smyslových a percepčních postupů umožňují v rámci pracovní paměti aktivaci specifických motorických reakcí (Dickstein a Deutsch, 2007, str. 943).

2.1 Rozdělení představy pohybu

Autoři se snažili představu pohybu rozlišit či rozdělit na několik typů. Annet (1995, str. 1395) tvrdil, že lze rozlišit představu pohybu na 3 způsoby představ. Jako první, nejjednodušší, když si jedinec představuje sám sebe vykonávající činnost, s tzv. "vnitřním" pohledem – z první osoby. Druhá, když si představuje, jak vidí sebe samotného či někoho jiného z "vnějšího" pohledu – třetí osoby. A třetí situace, kdy jedinec manipuluje a otáčí s obrazy vnějších objektů. Důležité je, že všechny tyto způsoby zahrnují "dobrovolnou činnost", pouze se liší v

kognitivních procesech. Jeannerod (1995, str. 1419-1420) na druhou stranu rozlišuje jiné dva typy, vizuální (vnější) a kinestetická (vnitřní) představa pohybu. U vizuální představy pohybu člověk určitou činnost pouze pozoruje a je to spojené s prostorovými souřadnicemi pohybu v prostoru. Zatímco při kinestetické představě pohybu si představuje konkrétní činnost, kterou on sám provádí a představivost je spojená s vlastními pohyby. Objevuje se i propojení různých variant představy pohybu, které v prvé řadě může být vědomí, že ruka je v určitém úhlu a poloze vůči ramennímu kloubu, v tomto případě se jedná o perspektivu první osoby a kinestetickou představu pohybu. V druhém případě je to vědomí toho, jak by ruka vypadala z třetí osoby a zároveň se jedná více o vizuální představu (Dickstein a Deutsch, 2007, str. 945; Hanakawa, 2016, str. 59).

2.2 Využití představy pohybu

V poslední době vzrostl velký zájem o tuto terapeutickou metodu a soustředí se na ni spoustu studií. Tento zájem je možné vysvětlit na faktu, že se během představy pohybu zapojují mozkové procesy motorického chování ve vyšších úrovních. Kdežto klasické techniky pro pohybovou rehabilitaci se soustředí na periferní část mozku zajišťující pohyb, nebo se vliv na vyšší úrovně mozkové kůry děje způsoben zdola nahoru (Bellelli et al., 2010).

Jsou již prokázány pozitivní vliv představy pohybu v souvislosti s motorickým učením. Práce s představou pohybu se zařazuje pro zlepšení motorického výkonu a při osvojování si motorických úkolů, jak u zdravých, tak nemocných osob. Může to být jako doplněk k fyzické aktivitě, ale zároveň je i přínosné samotné imaginační cvičení. Proto cvičení motorických představ nachází své využití nejen v rehabilitaci nejrůznějších diagnóz, ale řada studií ukazuje pozitivní účinky i ve sportu (Dickstein a Deutsch, 2007, str. 943; Mizuguchi et al, 2012, str. 103-111). Dále se představa pohybu ukazuje jako velmi prospěšné pro nacvičování přesnosti motorických úkolů, kde bylo jejich provedení porušeno nebo zcela chybí, v souvislosti s neurologickým onemocněním. Příkladem jsou studie ukazující zvýšení přesnosti provedení špetky nacvičované pomocí imaginace pohybu (Fukumoto et al., 2021, str. 1-2). I Hanakawa (2016) uvádí, že využití představy pohybu je vhodnější u nacvičování zručnosti prstů a ruky. Pokud je cílem zvýšení svalové síly větších svalů, jeví se jako nejlepší varianta kombinace motorického cvičení s představou pohybu, jelikož samostatná imaginace pohybu by v tomto případě nebyla dostačující.

2.2.1 Trénink u zdravých jedinců a sportovců

Jako první oblast, kde se našlo využití představy pohybu je skupina zdravých jedinců a sportovců. U zdravých jedinců došlo obecně ke zlepšení výkonnosti, a to jak svalová síla, zvětšení rozsahu v kloubech, nebo zlepšení posturální kontroly u seniorů. Imaginace přinesla benefity i do sportovní sféry, kde se ukázaly kladné výsledky pro zlepšení dynamiky pohybu, rychlosti a výkonu svalů (Dickstein a Deutsch, 2007, str. 943). Zlepšení výkonu je pozitivně prokázáno pomocí vegetativních parametrů sportovců, kam řadíme srdeční frekvence, dechová frekvence a kožní vodivost (Lotze a Halsband, 2006, str. 390). Uvádí se, že 70-90 % špičkových sportovců pracují s kinestetickou představou při svém tréninku, ať už jsou to profesionální sportovci v basketbalu, fotbalu, volejbalu, plavání, tanci nebo v gymnastice (Mizuguchi et al., 2012, str. 103-111). Zhang et al. (2018, str. 1-11) zkoumali na skupině basketbalistů-expertů a skupině začátečníků, zda sportovní pomůcky napomáhají kinestetické představivosti, a naopak nespecifické pomůcky mohou působit rušivě. Úkolem jednotlivců bylo motoricky si představovat basketbalové hody a měnícím se prvkem byla změna v držení basketbalového míče, volejbalového míče, nebo nedržení ničeho. Výsledky se hodnotily podle živosti představy pohybu a pomocí časové kongruence neboli shoda mezi představou a provedením pohybu. U expertů se prokázal facilitační účinek v případě, kdy drželi basketbalový míč v porovnání s tím, kdy nedrželi nic. Rušivý účinek se ukázal v momentě, kdy experti drželi v rukou volejbalový míč. Vykazovali nižší časovou shodu a živost představ, tím pádem se dá říci, že nespecifické pomůcky mají negativní vliv při představě pohybu u expertů. V závěru poznatky ukazují, že kinestetická představa vychází z motorických zkušeností jedince, které jsou spojené s používáním specifických pomůcek. A dále ze studie vyplývá, specifické sportovní náčiní usnadňuje představu pohybu, kdežto nespecifické pomůcky ji mohou narušit.

2.2.2 Trénink v neurologické rehabilitaci

Zatím největší využití imaginace je v oblasti neurologie a neurologické rehabilitace u pacientů po cévní mozkové příhodě. U pacientů s hemiparézou došlo ke zlepšení izolovaného pohybu rukou a dosahových aktivit. V rámci dolních končetin se zvýšily rozsahy prstů a kotníků, které zlepšily kvalitu chůze a každodenní činnosti během dne. Nejčastěji se kombinuje s aktivním cvičením určitých úkolů a výhodou je i to, že po seznámení a pochopení může pacient tuto metodu provádět sám (Dickstein a Deutsch, 2007, str. 943-944). Pro zvýšení účinku trénování představ je důležitá smyslová zpětná vazba. Ta se provádí na postižené ruce pacienta jako pasivní pohyby, tak abychom vytvořili vizuální iluzi a zároveň somatosenzorickou zpětnou vazbu. Pohyb se provádí zrcadlově s pohybem zdravé končetiny (Sirigu et al., 1996, str. 1567).

I Guillot a Collet (2005) uvádějí, že oblast, která se v současnosti nejvíce rozvíjí vzhledem k výzkumu imaginace pohybu je rehabilitace pro pacienty s motorickou poruchou mozku. Důkazy hovoří o mozkové plasticitě, která nastává při učení se motorickému úkolu, a zároveň se děje i při představě pohybu ve stejných oblastech mozkové kůry. Z výzkumů plyne, že trénink motorické představy vede k usnadnění budoucího provedení určitých, specifických pohybů pro rehabilitované pacienty (Guillot a Collet, 2005, str. 388).

2.2.3 Trénink posturální kontroly

Udržení vzpřímené polohy, potažmo stoje je řízeno centrální nervovou soustavou. Pokud mluvíme o statické rovnováze, tak je to schopnost jedince udržet vlastního těžiště v opěrné základně, která je definovaná jako pohybující se centrum tlaku podél opěrek pro každou nohu. Při hodnocení úrovně posturální stability se vychází z variability polohy centra tlaku vůči opěrné základně. Pokud jsou parametry variability zvýšené, zpravidla se tento jev považuje za snížení posturální stability (Grangeon, Guillot a Collet, 2011, str.47). Práce s představou pohybu u posturální aktivity a posturální kontroly se prokázala jako efektivní prvek pro zlepšení výkonu u starších jedinců. Nejen u seniorů došlo ke zlepšení výkonu, ale i u mladých jedinců, kteří v časovém úseku 4 týdnů trénovali s představou pohybu a pozorováním činnosti různé měnlivé a nepředvídatelné aktivity pro udržení rovnováhy (Mouthon et al., 2015, str. 535-536). Grangeon, Guillot a Collet (2010) se ve své studii zaobírali vlivem představy pohybu na posturální koordinaci a na zhodnocení posturálních výkyvů při použití vizuální, anebo v druhém případě, kinestetické představy pohybu. Při srovnání představ a jejich vlivu na posturální regulaci zjistili, že vizuální má oproti kinestetické na daný jev větší vliv, což jim vyvrátilo jejich hypotézu. Mysleli si, že pravděpodobně pro větší posturální regulaci bude prospěšnější kinestetická představa, jelikož základem řízení motoriky jsou senzorické signály. Výsledky také svědčí o tom, že imaginace pohybu má vliv na posturální kontrolu a snížila tím posturální kývání. Toto snížení by se dalo vysvětlit koncentrací pozornosti na mentální úkol, při kterém je posturální kontrola automatizovanější, a také zlepšení účinnosti posturální regulace možnou podprahovou svalovou aktivitou během představy pohybu. Tímto se nabízí prostor pro využití imaginace pohybu v dalším zkoumání neurologických pacientů s poruchami chůze nebo stability stoje a jejich možném zlepšení během zotavování.

2.2.3 Popáleniny

V rámci výzkumné studie byl zkoumaný vliv představy pohybu na obnovení motoriky po těžké popálenině ruky, a to během rehabilitační fáze. Zjistilo se, že zotavení a regenerace byla

rychlejší u pacientů, kteří vykonávali představu pohybu na rozdíl od těch, kteří ji neprováděli. Jelikož se jedná o periferní poškození, vyplývá z toho i fakt, že tato metoda je účinná nejen při centrálních nervových postiženích např. u CMP, ale i na periferní úrovni. I přes závažné periferní poškození tkání od epidermis, přes dermis, fascie, svaly a kosti současné poznatky podporují tvrzení, že představa pohybu se podílí na zachování motorického programu, se kterým souvisí snadnější provedení budoucích pohybů (Guillot et al., 2009, str. 691).

2.2.4 Parkinsonova choroba

Mezi interdisciplinární přístup léčby k osobám s Parkinsonovou nemocí patří i obor fyzioterapie. Nejdůležitějším cílem je udržet funkční motoriku pacienta s co největší funkční soběstačností. Terapie je zaměřená na nácvik rovnováhy, koordinace, flexibilitu a zvýšení svalové síly. Vhodným doplňkem by byl i trénink s představou pohybu. Je tu však otázka, jestli pacienti s Parkinsonovou chorobou jsou schopni si vůbec představit pohyby, a tím pádem získávat výhody této metody. Bylo prokázáno, že bazální ganglia se aktivují jak při fyzickém výkonu, tak i při představování pohybu. Tím pádem pacienti s Parkinsonovou chorobou, která se projevuje nigrostriálním dopaminergním deficitem, mohou mít ovlivněnou představivost. Studie zkoumala pomocí sady testů 14 pacientu s Parkinsonovou nemocí, zda jsou schopni představy pohybu. V porovnání s kontrolními osobami bylo zjištěno, že mezi zdravými a nemocnými osobami není rozdíl a pacienti s Parkinsonovou chorobou mají zachovanou představivost. Výsledky zní slibně pro integraci imaginace pohybu do rehabilitace u těchto pacientů a ovlivnění amplitudy a rychlosti pohybu. Dále na přípravu funkční pohybové aktivity např. chůze, chůze mezi překážkami nebo průchod dveřmi (Heremans et al., 2011, str. 168-173). Další autoři ukazují pozitivní účinnost reálného cvičení v kombinaci s imaginací pohybu u těchto pacientů ke snížení projevů této nemoci, především v ovlivnění bradykineze. Vycházeli ze srovnání kombinace imaginace pohybu a cvičení s pouhým cvičením, kdy výsledky ukázaly větší efekt kombinované terapie. Proto by se dalo předpokládat, že imaginace pohybu napomáhá budoucímu motorickému úkolu jako kognitivní příprava (Tamir, Dickstein a Huberman, 2007, str. 73).

2.2.5 Amyotrofická laterální skleróza

Jedná se o progresivní nervosvalové onemocnění, které má velmi špatnou prognózu a je způsobeno degenerativními změnami motoneuronů. Postupně narůstá spasticita, svalová slabost, posturální nestabilita s možnými pády, bradykineze a rigidita. Pro možné rozvinutí efektivní a účinné rehabilitaci, spolu s možným zpomalením progrese funkčních změn by

mohlo pomoci studium adaptačních funkčních procesů, které se během nemoci rozvíjí. U amyotrofické laterální sklerózy (ALS) se předpokládá postižení vícero nervových sítí, a to extrapyramidové, cerebelární a motorické dráhy. Na to reaguje mozková kůra kompenzačními mechanismy a dochází tak ke změnám motorických oblastí kortexu, což bylo již dokázáno díky funkčnímu zobrazování (Abidi et al., 2022, str. 1-8; Lulé et al. 2007, str. 518). Abidi et al. (2022) se ve své studii věnovali zkoumání neurálních interakcí motorického systému při imaginaci pohybu u pacientů s ALS a diagnostickou metodou byla funkční magnetická rezonance. Cílem studie bylo zhodnotit specifické sítě určené pro chůzi u pacientů s ALS. V závěru uvádějí, že fenomény přerušení specifických motorických sítí odpovídají klinickým projevům u pacientů s ALS (Abidi et al., 2022, str. 1-8). Dřívější studie autorů Lulé et al. (2007), kde taktéž zkoumali pomocí funkční magnetické rezonance pacienty s ALS při představě pohybu, prokázali možné kompenzační změny v CNS. Vycházeli z výsledků, kdy pacienti s ALS vykazovali výraznější reaktibilitu v premotorické a primární motorické oblasti během imaginace pohybu i provádění úkolu ve srovnání se zdravými jedinci, což bylo měřitelné i po šesti měsících, kdy se výraznější reaktibilita objevila i v precentrálním gyru a frontoparietální síti. Mimo využití představy pohybu v posouzení kompenzačních oblastí motorické kůry u pacientů s ALS, je také možné využít pro zachování motoriky a komunikace (Lulé et al., 2007, str. 518-519).

2.2.6 Poranění předního zkříženého vazu

Studie založené na kinestetické představě se objevili i pro rehabilitaci po ortopedických operacích a úrazech. Do této kategorie se řadí i poranění předního zkříženého vazu (ACL), u kterého se ukazuje nedostatečnost dosavadní rehabilitace a navrácení funkčnosti kolenního kloubu. To nabízí možnosti dalšího zkoumání terapeutických metod, které se týkají vyšších center nervové soustavy pro motorické řízení. Příkladem metod je již zmíněná imaginace pohybu nebo pozorování činnosti, které mají za cíl zlepšení fyzické výkonnosti bez potřeby provádět viditelného pohybu. V případě poranění ACL se určitou dobu viditelné pohyby provádět nedají, jak už z důvodu imobilizace kloubu, bolesti nebo zhoršené motorické kontroly, proto jsou tyto metody velmi vhodné (Paravlic, 2022, str.1-4). V rámci studie bylo zjištěno, že během 12 terapií s imaginací pohybu se zvýšila elektromyografická aktivita musculus quadriceps femoris. Usoudili, že zvýšení aktivace svalů může vycházet z reorganizace centrální nervové činnosti, jelikož antropometrické údaje svalů dolních končetin nevykazovaly žádné změny. Porovnávali také zmírnění bolesti, ale ta se v obou sledovaných skupinách nezměnila. Jednoznačně ale podpořila význam začlenění představy pohybu do rehabilitačního programu u

pacientů po operaci ACL a dá se považovat za doprovodnou terapii pro znovuobnovení motorických funkcí dolní končetiny (Lebon, Guillot a Collet, 2012, str. 45).

3 Hodnocení představy pohybu

Pro hodnocení představy pohybu se v praxi používají behaviorální a neurofyziologické metody. První z uvedených má své místo v psychologii a kognitivní psychologii a využívá řadu dotazníku, které posuzují individuální odlišnosti v rámci kinestetické nebo vizuální představy pohybu. Dotazníky jsou spojené s různými technikami. Jednou z nich je práce s mentální chronometrií, která ukazuje časový průběh reakce nervového systému v souvislosti se zpracováním informací. U behaviorální a psychologické metody měření představy pohybu hraje významnou roli subjektivní vnímání a přesnost představy pohybu je tím pádem závislá na subjektivitě jedince. V ideálním případě se pro validní výsledky kombinuje více metod (Guillot a Collet, 2005, str.391-394).

3.1 Subjektivní hodnocení představy pohybu

Jak už bylo zmíněno, existují dotazníky pro zhodnocení schopnosti jedince si představovat pohyb. Mezi nejpoužívanější se řadí Dotazník pohybové představivosti (Movement Imagery Questionnaire-MIQ), spolu s jeho přepracovanou verzí MIQ-R a Dotazník živosti pohybové představivosti (Vividness of Motor Imagery Questionnaire-VMIQ). Dotazník MIQ posuzuje jak kinestetickou, tak vizuální oblast imaginace pohybu a tvoří jej dohromady 18 prvků. Prvky jsou rozděleny napůl mezi kinestetickou a vizuální podškálu a jsou tvořeny pohyby horních končetin, dolních končetin a celého těla, např. kotoul a skok. Průběh testu je rozdělen do několika bodů. Jako první se jedinec umístí do výchozí polohy, dále je vysvětlen pohyb a jedinec je vybídnut k provedení pohybu, jedinec se opět nastaví do výchozí pozice a je vyzván pouze k představení si pohybu bez zjevného provedení. Na konci je jedinec vyzván k zhodnocení snadnosti a náročnosti představení si pohybu na sedmimístné škále, kde 1 znamená velmi snadné vidět/cítit a 7 odpovídá velmi obtížné vidět či cítit. Výsledkem je tedy určení snadnosti nebo naopak obtížnosti jedince si představit pohyb. V přepracované verzi dotazníku MIQ-R se pracuje už jen s osmi prvky a jedná se tak o kratší verzi pro zrychlení testu, došlo k vyřazení nadbytečných a fyzicky náročnějších prvků a zlepšení srozumitelnosti vyžadovaných pohybů. Instrukce k provedení testu zůstávají stejné, ale hodnotící škála je rozdílná, jelikož došlo k převrácení. 1 znamená velmi obtížné si představit pohyb a 7 znamená velmi snadné si představit pohyb. Při posuzování korelace s původním dotazníkem MIQ bylo zapojeno 50 jedinců s průměrným věkem 21 let (Malouin et al., 2007; Malouin et al., 2008, str. 330-331). Malouin et al. (2007) provedli rešerši ohledně spolehlivosti a adekvátnosti dotazníku MIQ-R. Rešerše ukazuje, že ve všech zkoumaných šetřeních vyšla úroveň korelace

mezi dotazníky MIQ-R k původnímu MIQ velmi vysoká. Z toho vyplývá, že dotazník MIQ-R lze považovat za adekvátní náhradu. Dotazník VMIQ hodnotící živost pohybové představivosti obsahuje 48 prvků a má škálu o pěti úrovních. Úroveň 1 značí stejně živou a jasnou představu jako vidění a úroveň 5 odpovídá žádné představě. Při tomto dotazníku se nepožaduje provedení pohybu předtím, než mají za úkol si ho představit. Malouin et al. (2007, str. 21) dále analyzovali korelaci další verze dotazníku MIQ – VMIQ. Výsledkem bylo, že korelace VMIQ se samotným dotazníkem MIQ vyšla střední, což nasvědčuje tomu, že dotazník VMIQ nemůže být plnohodnotnou náhradou dotazníku MIQ.

Malouin et al. (2007) vyvinuli vlastní modifikaci dotazníku MIQ, který byl určený čistě pro zdravé jedince a sportovce skrze akceleraci jejich výkonů. Vytvořený dotazník nese název Kinestetic and Visual Imagery Questionnaire – KVIQ-20 a sleduje jak kinestetickou, tak vizuální představu pohybu. Dotazník MIQ totiž není aplikovatelný k rehabilitacím osob tělesně postižených či pacientů s různými diagnostikami. Jedním z uváděných důvodů o zmíněné neadekvátnosti je vysoká fyzická náročnost. Upravený dotazník je tak určený osobám, které potřebují navedení při hodnocení vlastní představy nebo je pro ně obtížné vykonat náročnější pohyby, či vůbec stát na místě. Podstatný rozdíl od původního dotazníku MIQ je potřeba asistence při testování, jelikož test si osoba nevyplňuje sama. Test trvá přibližně 45 min, což může pro některé osoby se zdravotním postižením být příliš dlouhá doba pro soustředění, byl pro tyto pacienty vytvořena zkrácená varianta KVIQ-10, která je již vhodná pro klinické využití. Ve své práci Malouin et al. (2007) potvrdili spolehlivost dotazníku KVIQ-20 a KVIQ-10 pomocí test-restestu. A dále uvedli možné použití dotazníku KVIQ-10 u osob se zdravotním postižením. Co se týče dotazníku KVIQ-20, díky svému testování obou stran těla, je možné využít vyšetření symetrie představy pohybu na končetinách a trupu po cévní mozkové příhody, imobilizace nebo amputace.

3.2 Objektivní hodnocení představy pohybu

Neurofyziologické metody představují záznamy, jak na centrální, tak na periferní úrovni spolu i s autonomním nervovým systémem. Dnes je již známo, že nervové struktury jsou shodné pro motorický výkon i představu pohybu, proto s vývojem funkčních zobrazovacích metod se věnuje pozornost výzkumu kognitivního mozku, které přinesly řadu výsledků. Například důkaz o aktivaci neuronálních drah v motorické a premotorické kůře, a to včetně doplňkové motorické oblasti během představy pohybu a motorického výkonu. Došlo k zapojení i podkorových struktur bazálních ganglií a mozečku. Pro sbíráni dat se využívá

nejčastěji funkční magnetická rezonance (fMRI), pozitronová emisní tomografie (PET) a elektroencefalografie (EEG). Dále se používá záznam povrchové elektromyografie (EMG) k měření podprahové aktivitě svalů, ale nepovažuje se za spolehlivého ukazatele představy pohybu. Výsledky studií, které zkoumaly elektromyografickou aktivitu během představy pohybu jsou rozporuplné. Což vychází také z toho, že záznam povrchové EMG může být závislý na několika faktorech (Guillot a Collet, 2005, str. 388,390-391; Decety, 1996). Za detailnější neinvazivní metodu se dá považovat tenziomyografické měření (TMG), které snímá mechanickou odezvu svalu po elektrickém stimulu. V porovnání s EMG by tato metoda mohla být více senzitivní na nízkoprahové motorické signály a tím pádem přispět dalšímu vysvětlování vlivu představy pohybu na svaly (Wieland, Behringer a Zentgraf., 2022, str.58).

3.2.1 Elektromyografie (EMG)

Jednou z častých metod je měření pomocí elektromyografie (EMG). Je to metoda, kterou se měří elektrická aktivita svalů při statických i dynamických pohybech. Pracuje na principu detekce bioelektrických signálů ve svalech, a dokáže tak objektivně zhodnotit aktivitu na nervosvalovém podkladě. Zaznamenané akční potenciály motorických jednotek prostřednictvím jehlové či povrchové elektrody dávají výsledný signál, nazývaný zkratkou MUAP (motor unit action potential). Ze snímání akčního potenciálu pomocí jehlové elektrody vzniká přesný a přímý záznam z daného svalu. Povrchová elektromyografie se díky svým výhodám využívá v praxi i výzkumech (Massó et al., 2010, str. 128; Krobot a Kolářová, 2011, str.16).

Právě při použití měření EMG bylo prokázáno, že během představy pohybu se zvýší kortiko-motorická excitabilita. Ta je zároveň svalově specifická a dočasně vztahově spojená s tím, co bylo během skutečnosti pozorováno. V dalších výzkumech bylo zjištěno a popsáno, že elektromyografická aktivita, která se během představy pohybu naměřila, byla vyšší než ta, co se změřila za referenčního stavu, tedy na její "bazální" úrovni – klidové úrovni (Lebon, Rouffet, Collet a Guillot, 2008). Příkladem jsou studie, kde sportovcům naměřili výrazně vyšší svalovou aktivaci při pohybu v loketním kloubu oproti stavu v klidu (Geiger, Behrendt a Schuster-Amft, 2019, str. 1).

Hodnocení představy pohybu pomocí metody EMG se ukazuje s nejednotnými výsledky. Některé výzkumy používající tuto metodu ukazují zvýšenou EMG aktivitu, zatímco jiné výzkumy toto popírají (Wieland, Behringer a Zentgraf., 2022, str.58).

3.2.2 Elektroencefalografie (EEG)

Elektroencefalografie představuje diagnostickou metodu založenou na snímání elektrické aktivity mozku. Nejen, že se používá v oblasti neurologické diagnostiky, ale také pro experimenty zabývající se elektrickou aktivitou mozkové kůry při pohybu. Tato neinvazivní metoda podává důležité informace o funkčnosti centrální nervové soustavy. Zaznamenávání neurálních potenciálů v oblasti skalpu se děje pomocí speciálních čepic s elektrodami uvnitř (Pánek, 2016, str. 9,10). Výsledkem je EEG záznam, který je při analýze založený na frekvenci signálů a na morfologii vln. Pomocí této metody je možné provádět různé analýzy neurofyziologické činnosti mozkové kůry, mimo jiné i při představě pohybu. A jisté parametry naznačují změnu topologie mozkové sítě při nácviku představy pohybu (Pichiorri et al, 2010; Solodkin, Hlustik a Buccino, 2006, str. 511).

3.2.3 Funkční magnetické rezonance (fMRI)

Magnetická rezonance je neinvazivní metoda zobrazování mozku, která představuje daleko vyšší úroveň citlivosti na rozdíl od strukturálních zobrazovacích metod, jehož příkladem může být CT. Podává lepší rozlišení, ať už anatomické charakteristiky zdravého mozku, tak zjišťovaní abnormalit nebo chybně nakonfigurovaného mozku. Magnetická rezonance přinesla nové možnosti detekce mimo anatomie struktur mozkové tkáně, které podávají údaje o funkčnosti, spojení a metabolismu mozku. Z magnetické rezonance se dále rozvíjí funkční magnetická rezonance (fMRI), která se vyznačuje detekcí tkáňových procesů. Do toho se řadí zvýšení lokálního metabolismu a lokální průtok krve mozkovou tkání se vzestupem synaptické aktivity. Sleduje se poměr okysličené a odkysličené krve. Krev, která odchází z aktivní části mozku má poměrně více okysličeného hemoglobinu, což mění magnetické vlastnosti. Proto lze pomocí magnetické rezonance určit změny množství kyslíku v krvi v lokálním místě aktivní části mozkové kůry. Jelikož se nejedná o vyšetření s radiačním zátěžím a považuje se za velmi rychlou metodu pro získávání informací o funkčnosti mozku, vzrostl obrovský zájem o tuto metodu v nejrůznějších experimentech funkčnosti mozkové kůry, včetně motorické oblasti mozkové kůry. Své místo si fMRI našla i v řadě studiích a experimentech s vizuální a kinestetickou představou pohybu. Velmi vhodnou doplňující technikou je kombinace s EEG, ve výsledku to přináší data s vysokým strukturálním i časovým rozlišením (Solodkin, Hlustík a Buccino, 2007).

3.2.4 Pozitronové emisní tomografie (PET)

Pozitronová emisní tomografie je zobrazovací metoda, která po aplikaci do těla radioaktivních látek předkládá řadu biologických procesů. Jakmile se dostanou radiotracery do těla pomocí injekce, dostávájí se do nejrůznějších orgánů, a to i do mozku. Dostávají se přes hematoencefalickou bariéru do tkání, kde se hromadí. V oblasti nahromadění emitované pozitrony generují párové γ-fotony, které jsou PET skenerem zachyceny. Existují speciální radiotracery, které slouží k detekci různých funkcí, od rychlosti transportu, metabolismu, průtoku krve po určení rychlosti syntézy některých molekul (Juhász a John, 2020). Tato zobrazovací metoda mapující mozkovou aktivitu má předložit informace a důkazy o tom, že při představě pohybu se aktivují stejné nervové substráty jako při vykonávání pohybu (Guillot a Collet, 2005, str.388).

4 Diskuse

4.1 EMG

Lebon et al. (2008) ve své studii ukazují, že střední frekvence výkonnostního spektra EMG se jeví daleko vyšší při imaginaci pohybu než během klidového stavu. Tím potvrdili důkaz o progresi rychlosti intrasvalového vedení během představy pohybu. Studie vychází z měření aktivity EMG u svalů: dlouhá a krátká hlava biceps brachii a triceps brachii při flexi a extenzi v loketním kloubu, v rámci úkolu zvedání činky. U zvýšení střední frekvence může hrát roli určitá EMG aktivita během motorické imaginace. V této souvislosti byla již prokázáno aktivace motorické a premotorické mozkové kůry včetně doplňkové motorické oblasti a tím pádem se může předpokládat vliv kortikospinálních neuronů na spinální motoneurony. To by dále vysvětlovalo periferní odezvu a zvýšení rychlosti intramuskulárního vedení (Fukumoto et al., 2021, str. 1-2; Lebon et al. 2008, str. 181-185). Wieland et al. (2022) také zkoumali vzrušivost na periferní úrovni svalu biceps brachii při motorické imaginaci. Vycházeli z předpokladu, že do svalů jsou posílány nízkoprahové motorické signály během imaginace pohybu a změní se tak kontrakční parametry ve svalovém záškubu. V závěru vyšly výsledky, které prokazují, že imaginace pohybu neovlivňuje přímo kontrakci, nýbrž neurální iniciaci. Dále se dá z výsledků předpokládat, že se signálem při představě pohybu neaktivují α-motoneurony, ale rozličné neurální struktury, které mohou mít vliv na iniciaci kontrakce, příkladem mohou být interneurony. Předpoklady ze studie Lebon et al. (2008) se tím pádem kryjí se studií Wieland. et al. (2002). Pokud Lebon et al. (2008) očekávají vliv kortikospinálních neuronů na míšní neurony, tak Wieland et al. (2022) by dále podpořili svými konkrétnějšími informacemi ze své studie fakt, že na míšní úrovni se spíše aktivují interneurony a jiné neurální struktury než α-motoneurony, které mají podněcovat iniciaci kontrakce.

V nedávné studii Smith et al. (2019) vycházeli z poznatku, že představa pohybu v kombinaci s akčním pozorováním je efektivnější způsob, než použití představy pohybu a akčního pozorování zvlášť. Pro porovnávání účinnosti akčního pozorování a imaginace pohybu včetně jejich kombinace bylo vytvořeno pět tréninkových skupin, které měli zadaný úkol v podobě házení šipek na vyznačený kruh. Zaměřili se na EMG aktivitu, kinematiku pohybu a výsledky výkonu horní části těla a předloketních svalů. Zároveň očekávali snížení EMG aktivity svalů biceps brachii a triceps brachii v důsledku zvýšení výkonu míření. EMG elektrody byly umístěny na svalové vlákna svalů flexor carpi radialis, extensor carpi radialis, biceps brachii, triceps brachii a přední deltový sval. Údaje o aktivitě EMG sbírali před a po testu a výpočet byl

z bodu maximální flexe do maximální extenze. Významné snížení EMG aktivity zachytili u skupiny, která prováděli společně motorickou imaginaci i akční pozorování. Z výsledků vyplývá, že ze všech pozorovaných skupiny je nejúčinnější varianta kombinace představy pohybu a akčního pozorování, jelikož k hodu šipkou je třeba nižší EMG aktivace.

Výsledky měření představy pohybu EMG metodou nejsou jednotné. Jak moc imaginace pohybu ovlivňuje periferní struktury, v tomto případě svaly, je potřeba nadále objasňovat. V rámci některých studií byla EMG aktivita zvýšena během představy pohybu, ale jiné studie naopak toto zvýšení vyvrátily pomocí zpětné vazby (Wieland, Behringer a Zentgraf., 2022, str.58). Může se také stát, že EMG nenaměří žádnou aktivitu při představě pohybu, jako v případě stoupání do schodů, ačkoli představa pohybu může být na jiných úrovních motorického systému, které jsou pomocí metody EMG neměřitelné (Geiger, Behrendt a Schuster-Amft, 2019, str. 5-6).

4.2 EEG

Podobně se Kaneko et al. (2021) věnovali motorickým simulacím jako je akční pozorování a představa pohybu, stejně jako již ve zmíněné studii Smitha et al. (2019). Kaneko et al. (2021) vychází se svých dřívějších studií, ve kterých zkoumali kortikální aktivitu během akčního pozorování a představy pohybu. Tato studie byla zaměřená na měření mozkové excitability při akčním pozorování a představě pohybu chůze a jejích fázích pomocí objektivní metody elektroencefalografie. Testovaní jedinci měli nasazenou EEG čepici, která snímala signály během třech úkolů: akční pozorování, poté i spolu s představou pohybu a nakonec klid. Z této studie lze vyvodit, že fázová modulace byla jasnější při kombinaci představy pohybu a akčního pozorování než pouze u samotného akčního pozorování, a to v celé mozkové kůře. Ze studie Yokoyama et al. (2020), která dokázala modulaci levé senzomotorické kůry při představě pohybu spolu s akčním pozorování, a zároveň její zapojení i při opravdové chůzi naznačuje další spojitosti. Proto by se dalo odvozovat, že tyto dvě motorické simulace prováděné společně, oproti samotnému akčnímu pozorování mají větší propojenost se skutečnou chůzí. Což bylo ve studii Kaneko et al. (2021) potvrzeno a jejich výsledky uvádí motorické zlepšení chůze při tréninku imaginace pohybu spolu s akčním pozorováním. To nabízí možnost využití v rehabilitaci u neurologických pacientů, u kterých je cíl znovuobnovení schopnosti chůze, například u pacientů po cévní mozkové příhodě, ale i u pacientů s Parkinsonovou nemocí. Pro naplnění rehabilitačního cíle by proto mohla posloužit, jako doplňující metoda, použití imaginace pohybu a akčního pozorování, které podněcují plasticitu mozkové kůry a tím

podněcuje schopnosti chůze (Heremans et al., 2011, str. 168-173; Pelosin et al., 2010, str.746; Dickstein a Deutsch, 2007; Kaneko et al., 2021, str.).

Mencel et al. (2022) v rámci 4 týdnů zkoumali korovou excitabilitu u motorické představy dosahování a uchopování předmětu, kterou prováděli zdraví jedinci. Pro objektivní hodnocení využívali EEG, ale hodnotili také subjektivní živost kinestetické představivosti pomocí vizuální analogové stupnici. Ukázali zajímavé zjištění, že motorická představa dosahové aktivity má jiný EEG výstup než motorická představa úchopu předmětu a pro představení si dosahové aktivity je tento záznam daleko živější. Vycházeli z analýzy EEG záznamu, které měří potenciály spojené s určitým podmětem (ERP) a tyto potenciály jsou velmi spjaté s motorickými pochody. Dále potvrdili vetší aktivitu premotorické kůry vůči senzomotorické, definovanou až dvojnásobně vyšší amplitudou ERP. Toto zjištění by mohlo najít vysvětlení v tom, že premotorická kůra se do imaginace pohybu zapojuje živěji než senzomotorická kůra. To potvrzují i další studie, které uvádí důležitou kortikální oblastí při vytváření motorických představ je právě premotorická kůra. (Mencel et al., 2020, str. 1-14; Guillot et al., 2009)

Objektivní metoda EEG pro hodnocení imaginace pohybu se ukazuje jako praktická, cenově dostupná metoda, s možností vícečetných tréninků a tím pádem vyšší efektivitu rehabilitace. Metoda je spojená ale i se značným omezením prostorového rozlišení a prostup do hlubších struktur. V porovnání s metodou fMRI, která umožňuje lepší rozpoznání korových oblastí a vysoké prostorové rozlišení, by se zdála jako horší variantou. Nedá se to tak zcela říci, jelikož fMRI je na rozdíl od EEG nákladnou a obtížnější metodou, a navíc časově ohraničuje dobu skenování, tím pádem dobu pro možný trénink (Lioi et al, 2020, str. 1-2). Ve studii Lioi et al. (2020) využívají obě tyto metody současně, jelikož je považují za dobře se doplňující a efektivnější. Kombinací EEG a fMRI je možné získat data jednak s vysokým časovým rozlišením, ale i se strukturálním rozlišením (Solodkin, Hlustik a Buccino, 2006, str. 515)

4.3 fMRI

Sun et al. (2013) se ve své studii věnovali pacientům po cévní mozkové příhodě v chronickém stádiu a snažili se zjistit vzorce reorganizaci mozkové kůry po cvičení s imaginací pohybu. Pro hodnocení využívali neurozobrazovací objektivní – metodu funkční magnetickou rezonanci. I přes velký výzkum cvičení s představou pohybu u pacientů po cévní mozkové příhodě, jen málo z nich využívá fMRI a mimo to mají předešlé studie řadu omezení. Například se studie zabývali zotavenými pacienty pro porovnání se zdravými, nebo měření probíhalo pouze v jednom čase, tudíž nebylo možné odhalit změny kortikální excitability v průběhu

zotavování (Sharma, 2009). To vedlo autory Sun et al. (2013) k provedení 4-týdenního test, kdy pacienti s motorickým deficitem pasivně cvičili sevření pěsti. Výsledky ukázali, že u pacientů po CMP v chronickém stádiu se reorganizují kortikální spoje dvěma vzorci, a to zvýšení aktivace v kontralaterální senzomotorické kůře nebo soustředění aktivace v této oblasti mozkové kůry. Novější studie taktéž předpokládají reorganizační mechanismy senzomotorické kůry, při obnově motoriky po cévní mozkové příhodě (Ma et al., 2022, str.12). Ve studii autoři Ma et al. (2022) uvádějí své výsledky prováděné na skupině pacientů po cévní mozkové příhodě, které vykazují, že se při představě pohybu excituje oblast doplňkové motorické kůry, frontálního gyru a přední cingulární oblast. Pozoruhodné bylo zjištění, že byla zvýšená frontální aktivita u imaginace pohybu a u aktivně prováděného úkolu snížená odpověď primární motorické kůry a doplňkové motorické kůry. To dále vedlo k úsudku, že zatížení pacientů s cévní mozkovou příhodou schopností si představovat pohyb ovlivňuje intenzitu zapojení oblastí. Čím větší problém má pacient s představivostí, tím mají horší postižení motorické funkcí a s tím spojenou excitabilitu motorických oblastí mozkové kůry.

Lebon et al. (2018) analyzovali u zdravých jedinců, zda změny zobrazovací metody fMRI korelují se změnami výkonu pohybu prstů po tom, co využili k tréninku představu pohybu. Úkolem jedinců bylo představovat si pohyb prstů na dominantní končetině, což byla u všech pravá, a to přesném pořadí. Před zahájením tréninku proběhlo hodnocení živosti kinestetické a vizuální představy. Samotný trénink s představou pohybu byl pouze nárazový a trval 15 min. Ve výsledku se ukázal pozitivní efekt představy pohybu na výkon, což ukazovalo snížení chybovosti a zvýšení rychlosti při motorických úkolech pohybů prstů. Tento pozitivní vliv predikovala schopnost kinestetické představy hodnocené před cvičením. Jelikož s vysokou schopností kinestetické představy byla spojena excitabilita pravého dolního parietálního laloku. Zároveň fMRI naměřila během představy pohybu excitabilitu levého dolního parietální laloku, která se zvyšovala v časovém průběhu. Autoři proto předkládají, že důležitou oblastí při představě pohybu je dolní parietální lalok.

4.4 PET

Jelikož je zatím u zdravých lidí prokázáno, že při představě pohybu posturální kontroly se aktivuje mozeček, Mori et al. (2020) se věnovali stejné problematice, ale u pacientů s Parkinsonovou chorobou. Pomocí objektivní metody PET spolu s měřením stupně vazby dopaminového transportéru, pro zhodnocení dopaminergní dysfuknce, sledovali neuronální reakce jednak u pozorování siluety ve stoje, dále u představy vlastního stoje a aktivní zaujetí

vzpřímeného stoje po dobu 2 minut. Výsledky studie nasvědčují neporušenost nervových řetězců u představy a pozorování stoje, na rozdíl od aktivního stání, při kterém se hyperaktivovala horní zadní část mozečku v paracentrální oblasti chodidla. Zvýšená aktivace v těchto částech se ukázala jako kompenzační mechanismus deficience dopaminu u pacientů s Parkinsonovou chorobou a lze tak prokázat abnormální neuronální reakce a patofyziologické držení těla u těchto pacientů. Z dostupné literatury nejsou zřejmé další výsledky studií, které by mohly sloužit k hromadné analýze metod. To by vysvětlovala problematika citlivosti této zobrazovací metody a také omezený počet sledování změn. PET se v porovnání s fMRI jeví jako méně citlivá metoda. Navíc kvůli své omezenosti v počtu sledování je statisticky menší šance k odhalení malých změn mozkové excitability (Naito et al., 2002, str. 3688)

4.5 Porovnání efektivity vybraných objektivních metod

Při srovnání jednotlivých metod a jejich efektivity se jeví metoda EEG jako nejpraktičtější či nejuniverzálnější způsob objektivního hodnocení představy pohybu, a to především díky své cenové dostupnosti, praktickému použití v praxi a možnosti vícečetného skenování. To platí i přes nevýhody této metody, které souvisí s nedostatečnou hloubkou snímání mozkových struktur. V této oblasti může metodu EEG vhodně nahradit, v lepším případě doplnit, objektivní metoda fMRI, která nabízí hloubkové zkoumání struktur mozkové kůry. Nevýhodou samostatného použití metody fMRI je časové omezení sbírání dat v průběhu tréninku s představou pohybu. Obecně se také jedná o nákladnou metodu. Nejideálnější variantou je kombinace metody EEG a fMRI, jelikož dohromady poskytují jednak vysoké strukturální rozlišení i časové rozlišení. Podobně jako fMRI je metoda PET stejně časově omezená na snímání struktur, a zároveň se považuje za metodu s menší citlivostí. Nicméně dostupných studií, které využívají metodu PET je velmi malý počet. V poslední řadě metoda EMG, která je hojně využívána podává často rozporuplné výsledky napříč výzkumy.

Závěr

Představa pohybu využívá mentální imaginace určité činnosti bez reálného provedení. S představou pohybu se v rehabilitaci pracuje již od 80. let a ve sportu byla aplikována ještě dříve. Dodnes zůstává představa pohybu jako vhodná doplňková metoda jak v oblasti sportu, tak v oblasti rehabilitace u vybraných diagnóz. Pozitivní vliv imaginace byl testován a nalezen u zdravých jedinců a sportovců, v rehabilitace u neurologických pacientů, při tréninku posturální kontroly, u pacientů s Parkinsonovou chorobou, s amyotrofickou laterální sklerózou, s popáleninami, i u pacientů s poraněným předním křížovým vazem.

Subjektivní hodnocení představy pohybu využívá dotazníkové šetření, kdy jedinec posuzuje vlastní vnímání představy pohybu. Mezi neznámější a nejužívanější patří dotazník MIQ. Ten byl několikrát revidován pro svoji délku, složitost či adekvátnost a vznikly tak další dotazníky, mezi které se řadí například MIQ-R, KVIQ-20 a KVIQ-10. Ty jsou již adekvátní jak pro zdravé jedince, tak pro rehabilitované pacienty. Objektivní hodnocení představy pohybu využívá neinvazivních metod měření, a to elektromyografie, elektroencefalografie, funkční magnetickou rezonanci a pozitronovou emisní tomografii.

Dvě odlišné studie došly nezávisle na sobě k výsledkům, že při tréninku představy pohybu spolu s akčním pozorováním vychází lepší výsledky, a proto je efektivnější použití imaginace pohybu s akčním pozorováním pohybu. Při porovnání efektivity uvedených objektivních metod je zřejmé, že metoda EEG je nejpraktičtější, i přes své nevýhody. Metoda fMRI je taktéž vhodnou variantou, případně adekvátním doplňkem k EEG. Měření pomocí PET je považováno za méně citlivou metodu. Co se týče měření EMG aktivity během představy pohybu existují různé výsledky měření, které se navzájem bijí.

Referenční seznam

ABIDI, Malek, Pierre-Francois PRADAT, Nicolas TERMOZ, Annabelle COUILLANDRE, Peter BEDE a Giovanni DE MARCO. Motor imagery in amyotrophic lateral Sclerosis: An fMRI study of postural control. *NeuroImage: Clinical* [online]. 2022, **35**, 1-9 [cit. 2023-04-21]. ISSN 22131582. Dostupné z: doi:10.1016/j.nicl.2022.103051

AMBLER, Zdeněk. *Základy neurologie: [učebnice pro lékařské fakulty]*. 6., přeprac. a dopl. vyd. Praha: Galén, c2006. ISBN 80-726-2433-4.

ANNETT, John. Motor imagery: Perception or action?. *Neuropsychologia* [online]. 1995, 33(11), 1395-1417 [cit. 2022-06-13]. ISSN 00283932. Dostupné z: doi:10.1016/0028-3932(95)00072-B

BELLELLI, Giuseppe, Giovanni BUCCINO, Bruno BERNARDINI, Alessandro PADOVANI a Marco TRABUCCHI. Action Observation Treatment Improves Recovery of Postsurgical Orthopedic Patients: Evidence for a Top-Down Effect?. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* [online]. 2010, **91**(10), 1489-1494 [cit. 2023-04-20]. ISSN 00039993. Dostupné z: doi:10.1016/j.apmr.2010.07.013

ČIHÁK, Radomír. *Anatomie*. Třetí, upravené a doplněné vydání. Praha: Grada, 2016. ISBN 978-80-247-5636-3.

DE VRIES, S a T MULDER. Motor imagery and stroke rehabilitation: a critical discussion. *Journal of Rehabilitation Medicine* [online]. 2007, **39**(1), 5-13 [cit. 2022-11-27]. ISSN 0001-5555. Dostupné z: doi:10.2340/16501977-0020

DECETY, Jean. The neurophysiological basis of motor imagery. *Behavioural Brain Research* [online]. 1996, 77(1-2), 45-52 [cit. 2023-03-29]. ISSN 01664328. Dostupné z: doi:10.1016/0166-4328(95)00225-1

DICKSTEIN, Ruth a Judith E DEUTSCH. Motor Imagery in Physical Therapist Practice. *Physical Therapy* [online]. 2007, 87(7), 942-953 [cit. 2022-11-28]. ISSN 0031-9023. Dostupné z: doi:10.2522/ptj.20060331

DRUGA, Rastislav, Miloš GRIM a Petr DUBOVÝ. *Anatomie centrálního nervového systému*. Praha: Galén, c2011. ISBN 978-80-246-1895-1.
FIALA, Pavel a Jiří VALENTA. *Přehled anatomie centrálního nervového systému*. Praha: Univerzita Karlova, nakladatelství Karolinum, 2020. ISBN 978-80-246-4477-6.

FUKUMOTO, Yuki, Marina TODO, Hiroki BIZEN, Daisuke KIMURA a Toshiaki SUZUKI. Precision pinch force control via brain and spinal motor neuron excitability during motor imagery. *Neuroscience Letters* [online]. 2021, **754**, 1-7 [cit. 2023-04-18]. ISSN 03043940. Dostupné z: doi:10.1016/j.neulet.2021.135843

GEIGER, Damaris E., Frank BEHRENDT a Corina SCHUSTER-AMFT. EMG Muscle Activation Pattern of Four Lower Extremity Muscles during Stair Climbing, Motor Imagery, and Robot-Assisted Stepping: A Cross-Sectional Study in Healthy Individuals. *BioMed Research International* [online]. 2019, **2019**, 1-8 [cit. 2023-04-19]. ISSN 2314-6133. Dostupné z: doi:10.1155/2019/9351689

GRANGEON, M., A. GUILLOT a C. COLLET. Postural Control During Visual and Kinesthetic Motor Imagery. *Applied Psychophysiology and Biofeedback* [online]. 2011, **36**(1), 47-56 [cit. 2023-04-21]. ISSN 1090-0586. Dostupné z: doi:10.1007/s10484-011-9145-2

GROSPRÊTRE, Sidney, Florent LEBON, Charalambos PAPAXANTHIS a Alain MARTIN. New evidence of corticospinal network modulation induced by motor imagery. *Journal of Neurophysiology* [online]. 2016, **115**(3), 1279-1288 [cit. 2023-04-18]. ISSN 0022-3077. Dostupné z: doi:10.1152/jn.00952.2015

GUILLOT, A, F LEBON, M VERNAY, J P. GIRBON, J DOYON a C COLLET. *Effect of Motor Imagery in the Rehabilitation of Burn Patients* [online]. 2009, **30**(4), 686-693 [cit. 2022-11-28]. ISSN 1559-047X. Dostupné z: doi:10.1097/BCR.0b013e3181ac0003

GUILLOT, Aymeric a Christian COLLET. Contribution from neurophysiological and psychological methods to the study of motor imagery. *Brain Research Reviews* [online]. 2005, 50(2), 387-397 [cit. 2023-03-29]. ISSN 01650173. Dostupné z: doi:10.1016/j.brainresrev.2005.09.004

GUILLOT, Aymeric, Christian COLLET, Vo An NGUYEN, Francine MALOUIN, Carol RICHARDS a Julien DOYON. Brain activity during visual versus kinesthetic imagery: An fMRI study. *Human Brain Mapping* [online]. 2009, **30**(7), 2157-2172 [cit. 2023-05-05]. ISSN 10659471. Dostupné z: doi:10.1002/hbm.20658

HANAKAWA, Takashi, 2016. Organizing motor imageries. Neuroscience Research [online]. 104, 56-63 [cit. 2021-10-09]. ISSN 01680102.

HEREMANS, Elke, Peter FEYS, Alice NIEUWBOER, Sarah VERCRUYSSE, Wim VANDENBERGHE, Nikhil SHARMA a Werner HELSEN. Motor Imagery Ability in Patients With Early- and Mid-Stage Parkinson Disease. *Neurorehabilitation and Neural Repair* [online]. 2011, **25**(2), 168-177 [cit. 2023-04-21]. ISSN 1545-9683. Dostupné z: doi:10.1177/1545968310370750

JEANNEROD, M. Mental imagery in the motor context. *Neuropsychologia* [online]. 1995, 33(11), 1419-1432 [cit. 2022-06-14]. ISSN 00283932. Dostupné z: doi:10.1016/0028-3932(95)00073-C

JUHÁSZ, Csaba a Flóra JOHN. Utility of MRI, PET, and ictal SPECT in presurgical evaluation of non-lesional pediatric epilepsy. *Seizure* [online]. 2020, **77**, 15-28 [cit. 2023-04-24]. ISSN 10591311. Dostupné z: doi:10.1016/j.seizure.2019.05.008

KROBOT, Alois a Barbora KOLÁŘOVÁ. *Povrchová elektromyografie v klinické rehabilitaci*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2011. ISBN 978-80-244-2762-1.

LARRIVEE, Denis. *Evolving BCI Therapy - Engaging Brain State Dynamics*. London: British Library Cataloguing-in-Publication Data, 2018. ISBN 978-1-83881-588-2.

LEBON, F., D. ROUFFET, C. COLLET a A. GUILLOT. Modulation of EMG power spectrum frequency during motor imagery. *Neuroscience Letters* [online]. 2008, **435**(3), 181-185 [cit. 2023-04-30]. ISSN 03043940. Dostupné z: doi:10.1016/j.neulet.2008.02.033

LEBON, Florent, Aymeric GUILLOT a Christian COLLET. Increased Muscle Activation Following Motor Imagery During the Rehabilitation of the Anterior Cruciate

Ligament. *Applied Psychophysiology and Biofeedback* [online]. 2012, **37**(1), 45-51 [cit. 2023-04-26]. ISSN 1090-0586. Dostupné z: doi:10.1007/s10484-011-9175-9

LEBON, Florent, Ulrike HORN, Martin DOMIN a Martin LOTZE. Motor imagery training: Kinesthetic imagery strategy and inferior parietal fMRI activation. *Human Brain Mapping* [online]. 2018, **39**(4), 1805-1813 [cit. 2023-05-11]. ISSN 1065-9471. Dostupné z: doi:10.1002/hbm.23956

LIOI, Giulia, Simon BUTET, Mathis FLEURY, Elise BANNIER, Anatole LÉCUYER, Isabelle BONAN a Christian BARILLOT. A Multi-Target Motor Imagery Training Using Bimodal EEG-fMRI Neurofeedback: A Pilot Study in Chronic Stroke Patients. *Frontiers in Human Neuroscience* [online]. 2020, **14**(37), 1-13 [cit. 2023-05-04]. ISSN 1662-5161. Dostupné z: doi:10.3389/fnhum.2020.00037

LOTZE, Martin a Ulrike HALSBAND. Motor imagery. *Journal of Physiology-Paris* [online]. 2006, **99**(4-6), 386-395 [cit. 2022-06-14]. ISSN 09284257. Dostupné z: doi:10.1016/j.jphysparis.2006.03.012

LULÉ, Dorothée, Volker DIEKMANN, Jan KASSUBEK, Anja KURT, Niels BIRBAUMER, Albert C. LUDOLPH a Eduard KRAFT. Cortical Plasticity in Amyotrophic Lateral Sclerosis: Motor Imagery and Function. *Neurorehabilitation and Neural Repair* [online]. 2007, **21**(6), 518-526 [cit. 2023-05-10]. ISSN 1545-9683. Dostupné z: doi:10.1177/1545968307300698

MA, Zhen-Zhen, Jia-Jia WU, Xu-Yun HUA, et al. Brain Function and Upper Limb Deficit in Stroke With Motor Execution and Imagery: A Cross-Sectional Functional Magnetic Resonance Imaging Study. *Frontiers in Neuroscience* [online]. 2022, **16**, 1-12 [cit. 2023-05-07]. ISSN 1662-453X. Dostupné z: doi:10.3389/fnins.2022.806406

MALOUIN, Francine, Carol L. RICHARDS, Anne DURAND a Julien DOYON. Clinical Assessment of Motor Imagery After Stroke. *Neurorehabilitation and Neural Repair* [online]. 2008, **22**(4), 330-340 [cit. 2023-04-29]. ISSN 1545-9683. Dostupné z: doi:10.1177/1545968307313499

MALOUIN, Francine, Carol L. RICHARDS, Philip L. JACKSON, Martin F. LAFLEUR, Anne DURAND a Julien DOYON. The Kinesthetic and Visual Imagery Questionnaire (KVIQ) for Assessing Motor Imagery in Persons with Physical Disabilities: A Reliability and Construct Validity Study. *Journal of Neurologic Physical Therapy* [online]. 2007, **31**(1), 20-29 [cit. 2023-04-29]. ISSN 1557-0576. Dostupné z: doi:10.1097/01.NPT.0000260567.24122.64

MASSÓ, Núria, Ferran REY, Dani ROMERO, Gabriel GUAL, Lluís COSTA a Ana GERMÁN. Surface electromyography applications in the sport. *Apunts: Sport medicine* [online]. 22 January 2010, 128-136 [cit. 2022-06-14]. Dostupné z: https://www.apunts.org/en-pdf-S1886658110000204

MENCEL, Joanna, Jarosław MARUSIAK, Anna JASKÓLSKA, Łukasz KAMIŃSKI, Marek KURZYŃSKI, Andrzej WOŁCZOWSKI, Artur JASKÓLSKI a Katarzyna KISIEL-SAJEWICZ. Motor imagery training of goal-directed reaching in relation to imagery of reaching and grasping in healthy people. *Scientific Reports* [online]. 2022, **12**(1), 1-14 [cit. 2023-05-05]. ISSN 2045-2322. Dostupné z: doi:10.1038/s41598-022-21890-1

MIZUGUCHI, Nobuaki, Hiroki NAKATA, Yusuke UCHIDA a Kazuyuki KANOSUE. Motor imagery and sport performance. *The Journal of Physical Fitness and Sports Medicine* [online]. 2012, **1**(1), 103-111 [cit. 2023-04-26]. ISSN 2186-8123. Dostupné z: doi:10.7600/jpfsm.1.103

MORI, Yutaro, Etsuji YOSHIKAWA, Masami FUTATSUBASHI, Yasuomi OUCHI a Véronique SGAMBATO. Neural correlates of standing imagery and execution in Parkinsonian patients: The relevance to striatal dopamine dysfunction. *PLOS ONE* [online]. 2020, **15**(10), 1-14 [cit. 2023-05-05]. ISSN 1932-6203. Dostupné z: doi:10.1371/journal.pone.0240998

MOUTHON, A., J. RUFFIEUX, M. WÄLCHLI, M. KELLER a W. TAUBE. Task-dependent changes of corticospinal excitability during observation and motor imagery of balance tasks. *Neuroscience* [online]. 2015, **303**, 535-543 [cit. 2023-04-18]. ISSN 03064522. Dostupné z: doi:10.1016/j.neuroscience.2015.07.031

NAITO, Eiichi, Takanori KOCHIYAMA, Ryo KITADA, Satoshi NAKAMURA, Michikazu MATSUMURA, Yoshiharu YONEKURA a Norihiro SADATO. Internally Simulated Movement Sensations during Motor Imagery Activate Cortical Motor Areas and the Cerebellum. *The Journal of Neuroscience* [online]. 2002, **22**(9), 3683-3691 [cit. 2023-05-07]. ISSN 0270-6474. Dostupné z: doi:10.1523/JNEUROSCI.22-09-03683.2002

NEULS, Filip. *Nerové řízení motoriky* [online]. In: . 2015, 14.12.2015, s. 1-5 [cit. 2023-03-11]. Dostupné z: http://old.ftk.upol.cz/fileadmin/user_upload/FTK-dokumenty/Katedra_fyziologie/FYO_13_bonus_rizeni_motoriky.pdf

PÁNEK, David. *Elektroencefalografické koreláty pohybového chování a výkonnostní zátěže*. Praha: Univerzita Karlova, nakladatelství Karolinum, 2016. ISBN 978-80-246-3435-7.

PARAVLIC, Armin H. Motor Imagery and Action Observation as Appropriate Strategies for Home-Based Rehabilitation: A Mini-Review Focusing on Improving Physical Function in Orthopedic Patients. *Frontiers in Psychology* [online]. 2022, **13**, 1-9 [cit. 2023-04-26]. ISSN 1664-1078. Dostupné z: doi:10.3389/fpsyg.2022.826476

PELOSIN, Elisa, Laura AVANZINO, Marco BOVE, Paola STRAMESI, Alice NIEUWBOER a Giovanni ABBRUZZESE. Action Observation Improves Freezing of Gait in Patients With Parkinson's Disease. *Neurorehabilitation and Neural Repair* [online]. 2010, **24**(8), 746-752 [cit. 2023-05-01]. ISSN 1545-9683. Dostupné z: doi:10.1177/1545968310368685

ROMANO SMITH, Stephanie, Greg WOOD, Ginny COYLES, James W. ROBERTS a Caroline J. WAKEFIELD. *The effect of action observation and motor imagery combinations on upper limb kinematics and EMG during dart-throwing* [online]. 2019, **29**(12), 1917-1929 [cit. 2023-04-30]. ISSN 0905-7188. Dostupné z: doi:10.1111/sms.13534

SHARMA, Nikhil, Lucy H. SIMMONS, P. Simon JONES, Diana J. DAY, T. Adrian CARPENTER, Valerie M. POMEROY, Elizabeth A. WARBURTON a Jean-Claude BARON. Motor Imagery After Subcortical Stroke. *Stroke* [online]. 2009, **40**(4), 1315-1324 [cit. 2023-05-04]. ISSN 0039-2499. Dostupné z: doi:10.1161/STROKEAHA.108.525766

SIRIGU, Angela, Jean-René DUHAMEL, Laurent COHEN, Bernard PILLON, Bruno DUBOIS a Yves AGID. The Mental Representation of Hand Movements After Parietal Cortex Damage. *Science* [online]. 1996, **273**(5281), 1564-1568 [cit. 2023-03-29]. ISSN 0036-8075. Dostupné z: doi:10.1126/science.273.5281.1564

SOLODKIN, Ana, Petr HLUSTIK a Giovanni BUCCINO. The Anatomy and Physiology of the Motor System in Humans. *Handbook of Psychophysiology* [online]. 2007, 507-539 [cit. 2023-04-24]. Dostupné z: http://fmri.upol.cz/webdoc/solodkin-hlustik-buccino-motorChapterProof06.pdf

SOLODKIN, Ana, Petr HLUSTIK, E. Elinor CHEN a Steven L. SMALL. Fine Modulation in Network Activation during Motor Execution and Motor Imagery. *Cerebral Cortex* [online]. 2004, **14**(11), 1246-1255 [cit. 2022-11-28]. ISSN 1460-2199. Dostupné z: doi:10.1093/cercor/bhh086

SUN, Limin, Dazhi YIN, Yulian ZHU, et al. Cortical reorganization after motor imagery training in chronic stroke patients with severe motor impairment: a longitudinal fMRI study. *Neuroradiology* [online]. 2013, **55**(7), 913-925 [cit. 2023-05-04]. ISSN 0028-3940. Dostupné z: doi:10.1007/s00234-013-1188-z

TAMIR, Ruth, Ruth DICKSTEIN a Moshe HUBERMAN. Integration of Motor Imagery and Physical Practice in Group Treatment Applied to Subjects With Parkinson's Disease. *Neurorehabilitation and Neural Repair* [online]. 2007, **21**(1), 68-75 [cit. 2023-04-21]. ISSN 1545-9683. Dostupné z: doi:10.1177/1545968306292608

TRAVERSE, E., F. LEBON a A. MARTIN. Corticospinal and Spinal Excitabilities Are Modulated during Motor Imagery Associated with Somatosensory Electrical Nerve Stimulation. *Neural Plasticity* [online]. 2018, **2018**, 1-9 [cit. 2023-04-18]. ISSN 2090-5904. Dostupné z: doi:10.1155/2018/8265427

WIELAND, Björn, Michael BEHRINGER a Karen ZENTGRAF. Motor imagery and the muscle system. *International Journal of Psychophysiology* [online]. 2022, **174**, 57-65 [cit. 2023-04-18]. ISSN 01678760. Dostupné z: doi:10.1016/j.ijpsycho.2022.02.004

ZHANG, Lanlan, Yanling PI, Hua ZHU, Cheng SHEN, Jian ZHANG a Yin WU. Motor experience with a sport-specific implement affects motor imagery. *PeerJ* [online]. 2018, **6**, 1-14 [cit. 2023-04-26]. ISSN 2167-8359. Dostupné z: doi:10.7717/peerj.4687

Seznam zkratek

ACL	přední zkřížený vaz
ALS	amyotrofická laterální skleróza
CMP	cévní mozková příhoda
CNS	centrální nervová soutava
EEG	encefalografie
EMG	elektromyografie
fMRI	funkční magnetická rezonance
KVIQ-10	Kinestetic and Visual Imagery Questionnaire-short version
KVIQ-20	Kinestetic and Visual Imagery Questionnaire
m.	musculus
MIQ	Movement Imagery Questionnaire
MIQ-R	Movement Imagery Questionnaire-Revised
PET	pozitronová emisní tomografie
VMIQ	Vividness of Motor Imagery Questionnaire